



基于 Gplates 和 Vue 的古地理图在线 可视化系统设计与实现

孙超^{1,2)}, 黄浩³⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037;

2) 中国地质大学(武汉), 武汉, 430074; 3) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029

内容提要:“深时数字地球”(Deep-time Digital Earth, 简称 DDE)是由中国科学家发起和主导,并由国际最大的地质组织——国际地质科学联合会批准的第一个大科学计划。深时数字地球旨在为地球的发展演变创建一个前所未有的互联互通的数字档案,利用先进的信息技术和数据科学方法,将地质历史的时间尺度与现代地球观测数据相结合,构建一个全面、动态、多维的地球系统模型。古地理图是揭示地表演变过程、板块运动、物种分布变迁等地质和环境资源问题,构建深时数字地球的重要时空可视化工具。从 20 世纪 70 年代开始,国外学者开始通过收集的大量以古地磁为主的地球物理数据、地质年代学数据、古生物化石数据等地质数据构建古地理重建模型。经过 20 年的努力,在 EarthByte、Gplates Web Portal 等网站发布了叠加地貌图、地质图、高程信息、磁异常、岩性等要素信息的近 30 种古地理图。当前,国内很多在线地质信息应用系统包含了样品、产状、化石、矿点等要素在现代地图的叠加展示,但是大多数系统缺少在线古地理图可视化功能,因此,无法从时间维度表达地质数据的年代信息。本文作者力求全部采用基于免费开源框架的技术路线构建一个能够快速部署的古地理图可视化 Web 应用(single page application, SPA)系统,在一个页面内可以切换不同古地理重建模型,展示岩石、古生物化石等兼具空间属性和地质年代学属性的地质要素。采用 Vue 组件实现前端模块组件与数据的分离,易于与 Web GIS 系统前端进行数据传输和功能模块的整合,从而可以快速集成进基于 B/S 架构的地质信息系统中。

关键词:深时数字地球;古地理图;地理信息系统;Gplates;Vue.js

古地理图的绘制是古地理重建的重要手段,而古地理重建是研究地质历史时期地表构造过程、海陆格局和地貌环境特征的一项综合研究,并通过绘制表达海洋和大陆的古代轮廓以及重要的地形和地表环境的地图来呈现,是还原地球演化历史、预测能源矿产分布、认识生命和气候演变的基础性工作(侯明才, 2023)。然而传统古地理研究主要依赖桌面端 GIS 软件(如 GPlates、ArcGIS)进行制图分析,存在协作效率低、成果共享难、时空维度展示受限等痛点(Müller et al., 2018)。本系统旨在建设一个在线版的古地理图可视化应用系统,服务于地质学者开展深时地球(Deep-time Earth)大科学计划和地球演化的研究。作者提出基于 Gplates 和 Vue 框架构建的在线可视化平台,本系统通过前后端分离架构实现了 3 大提升:① 采用微服务动态连接数据库的机制,确保用户始终获取数据库中最新的地质要

素核心数据;② 在可视化扩展性方面,支持古地形高程等多源数据的融合表达;③ 在用户体验层面开发浏览器和移动端自适应界面,使野外地质工作者能够实时调阅对比现场观测数据与模型重建结果。

1 系统设计原则

1.1 古地理重建数字化模型

在系统设计前,作者充分调研现有公开的古地理重建模型。目前在 EarthByte 网站上共发布了地质学家重建的全球范围和区域性的古地理板块运动模型 16 个。既有这些模型中即有覆盖 1800 Ma 至今各个地质时代的古地理重建模型,也有针对如古生界、新元古代、晚侏罗世、三叠纪、白垩纪和新生代等某一地质时期的古地理模型。模型详情如表 1。本系统设计的原则是系统本身并不指向性的倾向于应用某一种古地理重建模型展示古地理图,而是在系

注:本文为中国地质调查局地质调查项目(编号:DD20230714)和国家重点研发计划课题(编号:2018YFE0204202)的成果。

收稿日期:2024-11-13;改回日期:2025-03-11;网络首发:2025-07-20;责任编辑:李明。Doi: 10.16509/j.georeview.2025.07.1017

作者简介:孙超,男,1979 年生,高级工程师,主要从事地质信息化,地质大数据,地质数据库建设;Email:sunchao@cags.ac.cn。

统内尽可能多地提供已发布的数字化古地理重建模型供研究人员参考。这也使得本系统成为目前国内支撑最多古地理重建模型的古地理图可视化系统。

1.2 系统技术框架选型

本系统架构采用浏览器前端+服务器后端(B/S)架构,前端采用 Vue.js+React 进行 Web GIS 开发,Vue.js 可以实现前端界面渲染与后端数据的严格分离,React 框架适用于适配电脑、平板、手机终端浏览器的单页面应用(Single Page Application,)。后端部署古地理 Gplates Web Service 容器服务实现前后端数据交互。Gplates Web Service 是由 AuScope 资助的 GPlates 项目的重要组成部分。该服务基于强大的板块构造重建引擎 PyGPlates,允许用户通过互联网/HTTP 协议访问 PyGPlates 的全部功能。通过远程访问项目组部署基于古地理板块构造重建模型形成的地图服务,使上面提到的古地理板块构造重建模型更容易地被更多学者浏览。用户只需向 <https://gws.gplates.org> 发送 HTTP 请求,服务器就会处理请求并返回结果。使用 HTTP 协议,可以使用各种编程语言和不同的操作系统访问 PyGPlates 的功能。Gplates 利用 Vite 实现系统的持续集成与快速部署。各框架详细技术特点如下:

1.2.1 Web 前端框架 Vue.js 简介

Vue.js 是一个流行的 JavaScript 前端框架,用于构建用户界面和单页面应用程序(SPA)。它的核心目标是通过提供简单的 API 和高效的响应式数据绑定来简化 Web 开发。其框架具有如下特点:

响应式数据绑定:Vue.js 使用了响应式数据绑定的概念,当数据状态发生变化时,相关的 DOM 元素会自动更新。这样可以使开发者更容易地管理和维护应用程序的状态。

组件化:Vue.js 鼓励将 UI 拆分成可复用的组件,每个组件都有自己的状态和行为。这样可以提高代码的可维护性和可重用性,并使开发过程更为模块化。

简洁易用:Vue.js 的 API 设计简洁明了,学习曲线较低,使得开发者能够更快速地上手并构建应用程序。

灵活性:Vue.js 既可以作为一个用于构建单页面应用程序的完整框架,也可以仅用于页面中的特定部分。它的灵活性使得它可以与其他库和框架(如 React 和 Angular)很好地配合使用。

渐进式:Vue.js 是一个渐进式框架,意味着你可以根据需要逐步引入它的功能。这样可以使得在

现有项目中引入 Vue.js 变得更加容易。

1.2.2 Web 网页 UI 组件 React 简介

React 是一个由 Meta 公司(前脸书公司)开发的用于构建用户界面的 JavaScript 库。它专注于提供高效、灵活和可复用的组件化 UI 开发解决方案。具有以下特点:

组件化:React 鼓励将 UI 拆分成小的、可复用的组件。每个组件都有自己的状态和行为,使得代码更易于维护和扩展。

虚拟 DOM(Virtual DOM):React 通过使用虚拟 DOM 来提高性能。它将 DOM 操作优化为最小化,并通过比较虚拟 DOM 的差异来批量更新实际 DOM,从而提高了页面渲染的效率。

单向数据流:React 采用了单向数据流的数据传递模型,父组件可以通过 props 向子组件传递数据,子组件则通过回调函数向父组件传递事件。

JSX 技术:JSX 是一种 JavaScript 的语法扩展,允许开发者在 JavaScript 代码中直接编写 HTML 结构。它使得编写 React 组件更加直观和简洁。

生命周期方法:React 组件具有一系列生命周期方法,允许开发者在组件的不同阶段执行特定的操作。例如,componentDidMount 方法在组件被挂载到 DOM 后调用。

1.2.3 快速集成部署工具 Vite 简介

在浏览器支持 ECMAScript 模块之前,JavaScript 并没有提供原生机制让开发者以模块化的方式进行开发。因此需要使用工具抓取、处理并将开发的源码模块串联成可以在浏览器中运行的文件,也就是我们通常说的打包部署(build package)。

随着 Web 前端技术的发展诸如 webpack、Rollup 和 Parcel 等工具致力于对代码进行持续集成(Continuous integration, CI)和持续部署(Continuous Deployment, CD),它们极大地改善了前端开发者的开发体验。

但是,当开始构建越来越大型的应用且应用需求经常改变时,需要处理的 JavaScript 代码量也呈指数级增长。包含数千个模块的大型项目相当普遍。基于 JavaScript 开发的工具就会开始遇到性能瓶颈:通常需要很长时间才能启动开发服务器,即使使用模块热替换(HMR),文件修改后的效果也需要几秒钟才能在浏览器中反映出来。如此循环往复,迟钝的反馈会极大地影响开发者的开发效率和体验。

Vite 旨在利用生态系统中的新进展解决上述问题:浏览器开始原生支持 ES 模块,且越来越多

表 1 EarthByte 网站发布的古地理重建模型

Table 1 Paleogeographic reconstruction model published on the EarthByte website

序号	古地理重建模型名称	时间范围 (Ma)	出处
1	Cao Xiazhi et al. (2024) Earth's tectonic and plate boundary evolution over 1.8 billion years	1800~0	Earth's tectonic and plate boundary evolution over 1.8 billion years. <i>Geoscience Frontiers</i> , p. 101922. (Cao Xiazhi et al., 2024)
2	Müller et al. (2022) A tectonic-rules-based mantle reference frame since 1 billion years ago	1000~0	A tectonic-rules-based mantle reference frame since 1 billion years ago — implications for supercontinent cycles and plate—mantle system evolution, <i>Solid Earth</i> , 13, 1127~1159(Cao Xiazhi et al., 2024), https://doi.org/10.5194/se-13-1127-2022 , 2022. (Müller et al., 2022)
3	Merdith et al. (2021) Extending full-plate tectonic models into deep time; Linking the Neoproterozoic and the Phanerozoic	1000~0	Extending full-plate tectonic models into deep time; Linking the Neoproterozoic and the Phanerozoic, <i>Earth-Science Reviews</i> , Volume 214, 2021, 103477, ISSN 0012 – 8252, https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103477 . (Merdith et al., 2021)
4	Clennett et al. (2020) A Quantitative Tomotectonic Plate Reconstruction of Western North America and the Eastern Pacific Basin	170~0	A Quantitative Tomotectonic Plate Reconstruction of Western North America and the Eastern Pacific Basin, <i>Geochemistry, Geophysics, Geosystems</i> , https://doi.org/10.1029/2020GC009117 (Clennett et al., 2020)
5	Müller et al. (2019) A Global Plate Model Including Lithospheric Deformation Along Major Rifts and Orogens Since the Triassic	250~0	A global plate model including lithospheric deformation along major rifts and orogens since the Triassic. <i>Tectonics</i> , vol. 38, https://doi.org/10.1029/2018TC005462 . (Müller et al., 2019)
6	Young et al. (2018) Global kinematics of tectonic plates and subduction zones since the late Paleozoic Era.	410~0	Global kinematics of tectonic plates and subduction zones since the late Paleozoic Era, <i>Geoscience Frontiers</i> (2018), doi: 10.1016/j.gsf.2018.05.011. (Young et al., 2019)
7	Merdith et al. (2017) Rodinia model from Gondwana Research	1000~520	A full-plate global reconstruction of the Neoproterozoic. <i>Gondwana Research</i> . (Merdith et al., 2017)
8	Matthews et al. (2016) Late Paleozoic to present-day global model (Global and Planetary Change). Note: these files have the Pacific correction applied	230~0	Tectonic evolution and deep mantle structure of the eastern Tethys since the latest Jurassic. <i>Earth Science Reviews</i> , v. 162, p. 293 ~ 337. (Zahirovic et al., 2016)
9	Zahirovic et al. (2016) Eastern Tethys refinements to Muller et al. (2016) AREPS model	230~0	Tectonic evolution and deep mantle structure of the eastern Tethys since the latest Jurassic. <i>Earth Science Reviews</i> , v. 162, p. 293 ~ 337. (Zahirovic et al., 2016)
10	Müller et al. (2016) Late Triassic to present-day global model (Annual Review of Earth and Planetary Sciences). NOTE: these files have the Pacific correction applied	230~0	Ocean basin evolution and global-scale plate reorganization events since Pangea breakup; <i>Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences</i> , Vol 44, 107~138 (Müller et al., 2016)
11	Zahirovic et al. (2014) and Gibbons et al. (2015) Southeast Asia and Tethyan refinements that incorporate modifications for the circum Arctic (Shephard et al., 2013)	200~0	The Cretaceous and Cenozoic tectonic evolution of Southeast Asia; <i>Solid Earth (EGU)</i> , v. 5, p. 227~273. (Zahirovic et al., 2014) A tectonic model reconciling evidence for the collisions between India, Eurasia and intra-oceanic arcs of the central—eastern Tethys; <i>Gondwana Research FOCUS</i> . (Gibbons et al., 2015)
12	Shephard et al. (2013) Circum-Arctic refinements of the Seton et al. (2012) model	200~0	The tectonic evolution of the Arctic since Pangea breakup; Integrating constraints from surface geology and geophysics with mantle structure; <i>Earth-Science Reviews</i> , v. 124, p. 148~183. (Shephard et al., 2013)
13	Seton et al. (2012) Post-Pangea model from Earth-Science Reviews	200~0	Global continental and ocean basin reconstructions since 200 Ma; <i>Earth-Science Reviews</i> , v. 113, no. 3~4, p. 212~270. (Seton et al., 2012)
14	Gurnis et al. (2012) First plate motion model using the GPlates continuously closing plate polygon algorithm	140~0	Plate Tectonic Reconstructions with Continuously Closing Plates; <i>Computers & Geosciences</i> , v. 38, no. 1, p. 35~42. (Gurnis et al., 2012)
15	Li et al. (2008) Rodinia model from Precambrian Research	1100~530	Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis; <i>Precambrian Research</i> v. 160, p. 179~210. (Li et al., 2008)
16	Scotese (2016) PALEOMAP reconstructions	1100~0	PALEOMAP PaleoAtlas for GPlates and the PaleoData Plotter Program, PALEOMAP Project. (Scotese, 2016)

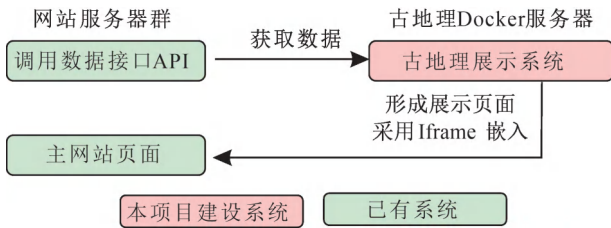


图 1 系统上下文关系图

Fig. 1 System context diagram

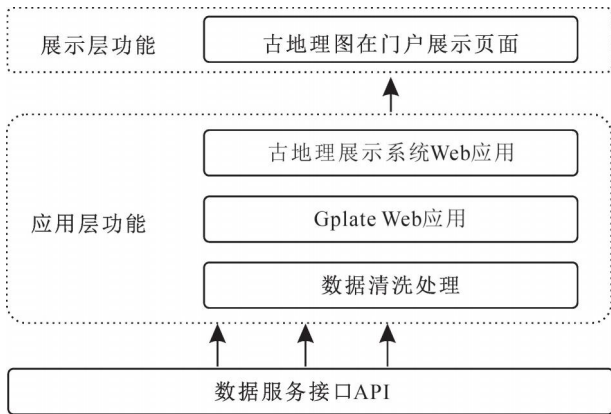


图 2 系统功能架构

Fig. 2 System functional architecture diagram

JavaScript 工具使用编译型语言编写。

Vite(法语意为“快速的”,发音 /vit/,发音同“veet”)是一种新型前端构建工具,能够显著提升前端开发体验。它主要由两部分组成:

一个开发服务器,它基于原生 ES 模块提供了丰富的内建功能,如以惊人的速度进行模块热更新(HMR)。

一套构建指令,它使用 Rollup 打包代码,并且它是预配置的,可输出用于生产环境的高度优化过的静态资源。

通过插件模式,Vite 支持与 Vue、React 等其他框架或工具的集成。Vite 还提供了强大的扩展性,可通过其插件 API 和 JavaScript API 进行扩展,并提供完整的类型支持。

1.2.4 Gplates 简介

Gplates 是一款基于桌面端的、跨平台的可视化、交互式板块构造软件,该软件涵盖了地理信息系统及矢量、栅格数据的 2D、3D 可视化功能。Gplates 提供了 Web Service 接口用于根据古地理模型将 Shp、GeoJSON、GeoSciML 等 GIS 文件格式的要素空间属性数据转换为古地理空间数据;另一方面,

Gplates 支持对栅格数据几何形态的古地理转化。这使得地质学者可以快速地利用 Gplates 制作古地理地图、板块运动演示视频等可视化信息产品,从而应用于地球科学的科研、科普、与教学活动中(Müller et al., 2018)。

2 系统架构

2.1 系统上下文

系统上下文(System context)是系统设计、架构的基本术语,意思是描述本系统与和其它系统的功能定位、协作、交互等关联关系,用以说明系统的功能定位。古地理图在线可视化系统将独立部署在单独服务器或容器上,通过数据接口 API 获取底层数据库中的样品数据,在系统中进行渲染形成展示界面,形成的展示界面通过 iframe 方式嵌入到主网站中对最终用户进行展示(图 1)。这使得古地理在线可视化系统可以方便地嵌入任何拥有经纬度信息的 WebGIS 系统中。

2.2 系统功能架构

系统通过基于数据库数据开发的应用程序编程接口(application programming interface, API),获取与前端约定好格式的数据库数据,通过数据清洗将有经纬度和符合质量的数据与系统 Gplates Web Service 接口对接,并将现代经纬度数据进行转换,最后通过 D3.js 脚本语言在 Web 页面中将样品数据在已有古地理板块构造模型图上进行渲染投图(图 2)。

此外,为了方便用户基于地质时代查询该时代的古地理图,还应将国际地质年代表(geological time scale, GTS)(Cohen et al., 2013)。设计为可视化组件,并提供在网页生成的投点后的古地理图快照进行图片下载和导出功能,形成 TIF、SVG、PNG、JPG 等格式以便研究人员可以方便地在论文中引用。

2.3 系统技术架构

古地理图可视化系统前端采用 Leaflet 进行数据在古地理地图的展示,中间层采用 Python Django 作为 Web 框架实现从数据库数据到前端展示数据的处理。采用 Gplates 将数据中的现代地理坐标转化为某个地质年代的古地理坐标,然后通过 GeoServer 将古地理底图进行发布。采用 .NET 框架作为后端进行逻辑处理和数据清洗,交互方式采用 Webservice 微服务方式进行数据传输(图 3)。

3 关键技术点

在线古地理图的可视化系统支持矢量和栅格两

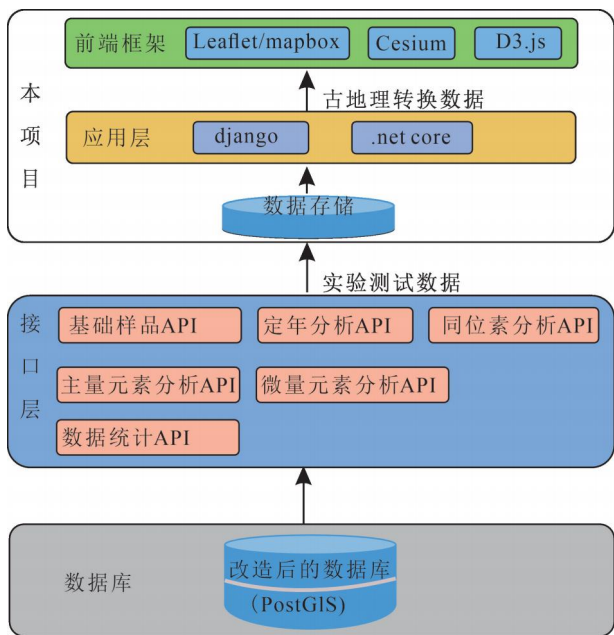


图 3 系统技术架构

Fig. 3 System technical architecture diagram

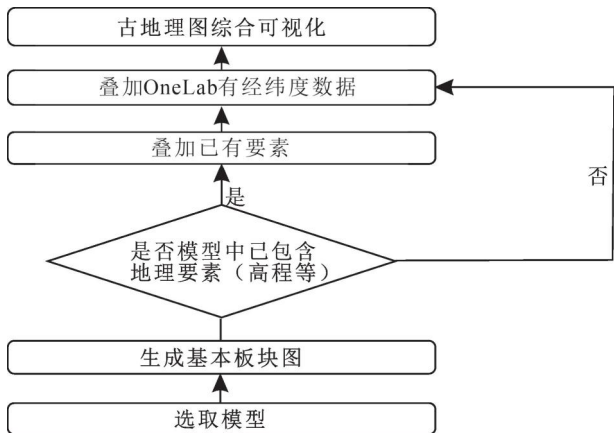


图 4 叠加地质要素的矢量古地理图处理流程

Fig. 4 Processing flow of vector paleogeographic maps with superimposed geological features

种古地理图格式进行在线展示, 矢量古地理底图通过 Leaflet 开源 Javascript 库根据 Gplates 提供海岸线重建模型 Webservice 服务接口进行绘制, 上面叠加基于 Gplates 古地理模型形成的不同板块边界 (海岸线) 绘制的古地理板块基础底图, 再向上形成基于模型产生的地图要素 (已有模型地理要素+样品点) 在某个地质年代的古地理位置 (图 4, 图 5)。古地理位置点可通过将样品点的当前坐标、地质年代值及模型名称传入 Gplates Web Service 在线服务获取。

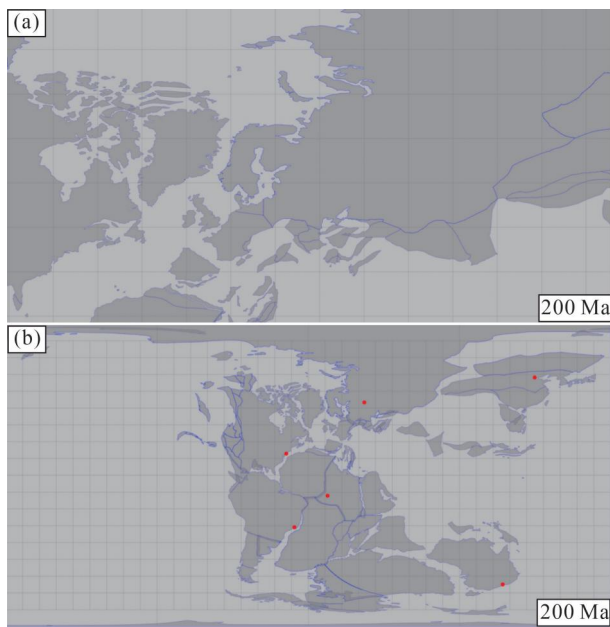


图 5 基础古地理板块底图及样品点在古地理板块底图的呈现

Fig. 5 Basement map of geological plate and sample points plot to the map

3.1 多源异构古地理数据融合技术

本系统开发了一种矢量-栅格双模可视化引擎, 基于 Leaflet.js 构建矢量地球底图, 动态集成 Gplates 海岸线重建模型 Web Service 接口, 实现板块边界、地理要素 (含样品点) 的古地理位置动态渲染;

对 EarthByte 开放栅格数据 (古高程/地貌图) 进行矢量化处理, 通过坐标转换与样品数据叠加生成高细节栅格古地图。

3.2 跨年代坐标动态转换算法

建立样品点当前坐标→古地理坐标映射模型: 输入当前经纬度、地质年代及板块运动模型, 调用 Gplates Web Service 实现跨年代坐标的实时反演;

开发栅格—矢量坐标对齐协议, 确保不同格式数据在统一时空基准下的精确叠加 (误差 $\leq 0.1^\circ$)。

栅格格式的古地理图可在古地理图上展示更为复杂的颜色和要素的细节, 如 $6' \times 6'$ 的古地理高程图、古地貌图采用栅格格式显示可视化效果更好。通过 EarthByte 开放的古地理图栅格文件, 使用 QGIS、ArcGIS 等地理信息处理软件进行矢量化处理后按重要地质事件年代形成基本图层, 再将样品数据经纬度利用 Gplates 转化为古地理坐标点叠加到当前年代的古地理图上, 形成新的栅格数据, 最终再形成该年代叠加样品坐标数据的栅格古地理图。

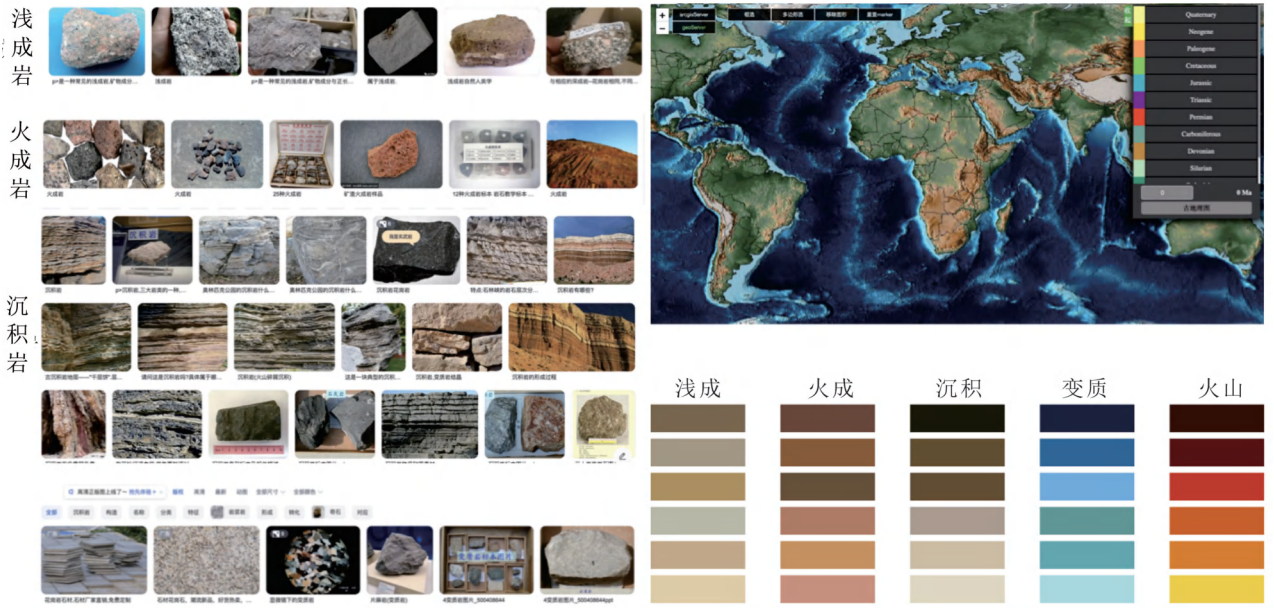


图 8 岩石样品取色表

Fig. 8 Rock sample color scheme

时间轴		
Holocene	Meghalayan	
	Northgrippian	
	Greenlandian	
	Pleistocene	Upper Pleistocene
		Chibanian
	Quaternary 2.58-0	Calabrian
	Gelasian	
	Neogene	
	Paleogene	
	Cretaceous	
	Jurassic	
	Triassic	
	Permian	
	Carboniferous	
	Devonian	
	Silurian	
	Ordovician	

图 9 国际年代地层表可视化效果(竖向)

Fig. 9 Web visualization effect (vertical version) of international chronostratigraphic chart

细腻的质地和常见的颜色特征。

(2)火成岩:火成岩的颜色多样,但常见黑色、

深灰色和棕色。我们选用了深棕色作为火成岩的代表色,突出其坚硬和深色的特点。

(3)沉积岩:沉积岩的颜色范围广泛,从浅黄色到深棕色。我们选择了温暖的棕色来代表沉积岩,象征其多层次和沉积过程的复杂性。

(4)变质岩:变质岩的颜色通常较为丰富,包括绿色、灰色和黑色。我们选用了绿色作为变质岩的代表色,象征其经过高温高压变质后的新生和活力。

(5)火山岩:火山岩的颜色多为黑色和深红色。我们选择了深红色作为火山岩的代表色,强调其火山活动的激烈和高温特性。

通过这种专业的配色设计不仅能在古地理图上清晰区分不同岩石类型,还能增强图表的美观性和可读性,帮助用户更直观地理解地质信息。具体参见以下配色表(图 8)。

7 系统建设效果

系统目前已部署在互联网(样例数据由中国科学院地质与地球物理所实验数据工作组提供),系统代码已发布在国内代码托管平台 Gitee 上。

作者通过地质年代学数据库的实现了国际地质时代表(Cohen et al., 2013)地质时代层序的可视化,大幅提升了数据可视化的效率和用户体验,完成竖向、横向两种地质时代层序的可视化(图 9,图 10)。直观地展示各个地质年代单位、名称和同位素年龄值。这有助于用户快速定位到对应的地质年

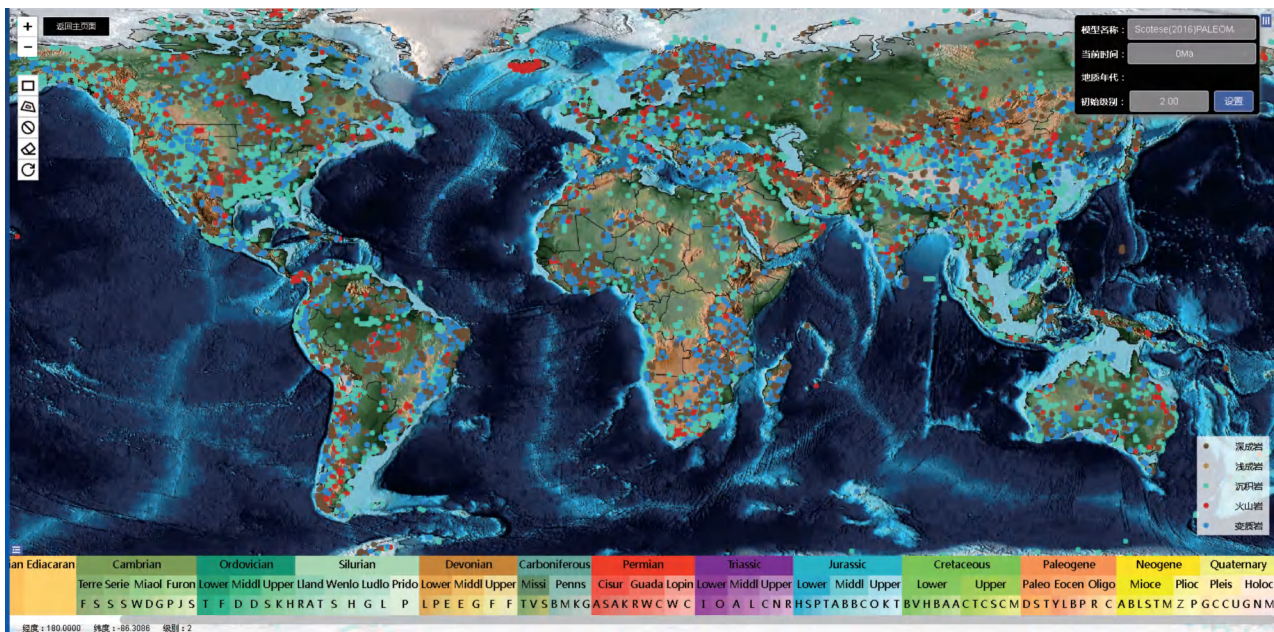


图 10 国际年代地层表可视化效果(横向)

Fig. 10 Web visualization effect (horizontal version) of international chronostratigraphic chart

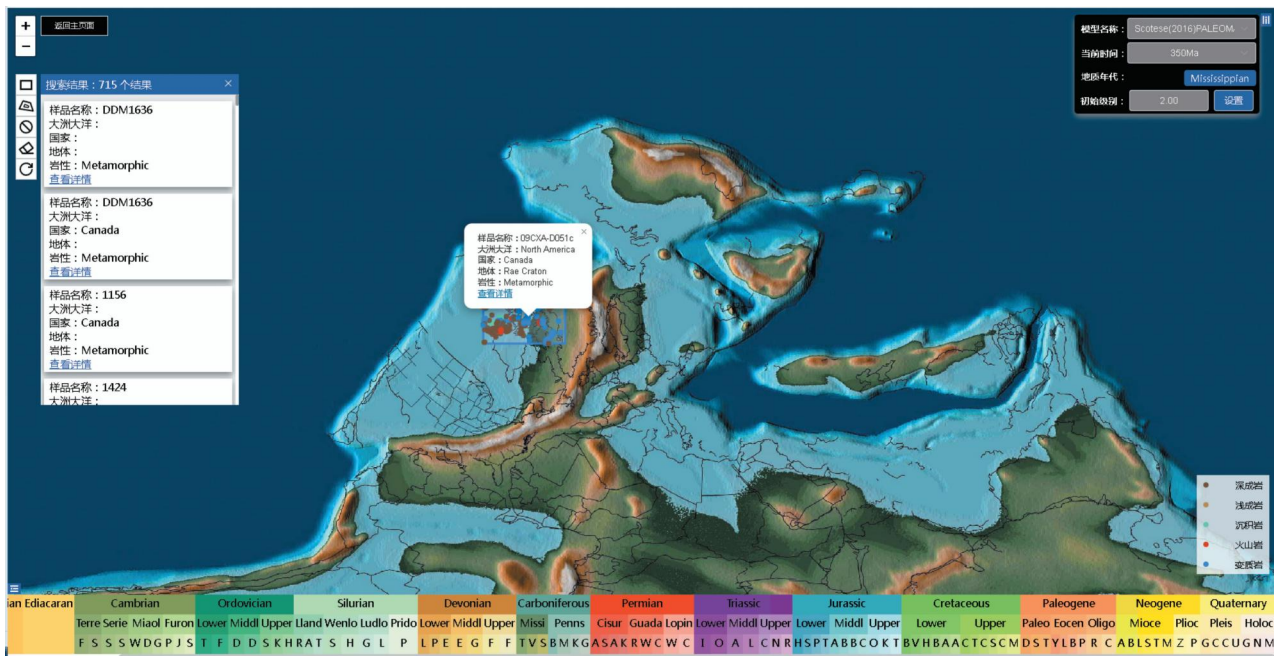


图 11 包含样品要素的密西西比纪古地理图

Fig. 11 Paleogeography map of the Mississippian period with sample elements

代,进行数据的查询和分析。

通过底部可视化的地质时代表组件或右上方的地质时间轴可以快速的 选择某一地质时代或地质时间(百万年为单位)的古地理图。此外系统还给出了古地理模型选项,用户可以选择自己感兴趣的古地理重建模型查看基于该模型重建的古地理图。通

过点击、框选叠加在古地理底图的样本点要素可以过滤并查看样本的基本信息(图 11)。

8 结论和下一步建设设想

本系统通过开源免费框架搭建了一个基于单页面应用(SPA)的古地理图可视化平台,能够实现各

类古地理重建模型和地质数据联动展示。相比传统的在线地质信息系统,该平台增加了对古地理图的时空可视化支持,展示了地球化学、古生物化石等样品信息和产状、矿点等地质要素的时空分布,从而为深入研究地球演化、物种分布变迁等问题提供了重要的工具。该平台还采用 Vue 组件技术,实现了前端模块组件与数据的解耦,便于与 Web GIS 系统集成,具备良好的扩展性和快速部署能力。

系统在下一阶段将从以下几个方面进行完善:

(1) 据源扩展:进一步整合全球范围内的岩石、矿物、化石样品数据和地质图数据,提升数据的丰富度,为用户提供更为全面的地质信息展示。

(2) 功能优化:引入更多的可视化形式,如 3D 地形展示和动态演化过程动画,提高系统的交互性和用户体验。

(3) 用户交互增强:开发更为灵活的用户自定义功能,如允许用户上传和叠加自有数据,提升系统的实用性和定制化功能。

(4) 国际化扩展:推动系统的多语言支持,并与国际上的古地理学和地质信息学系统接轨,促进全球范围内的学术交流与合作。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

侯明才, 陈安清, 任强, 钟瀚霖, 李志林, 刘少峰, 肖倚天, 李海鹏, 伍新明, 姜莉莉, 马超, 林成发, 郑栋宇, 尤加春, 孙晓明, 逆鹏, 王瀚, 张蕾, 程汉. 2023&. 综合古地理重建的数字智能化趋势与方法进展. 地质学报, 97(9): 2956~2974.

Cao, Xianzhi, Alan S. Collins, Sergei Pisarevsky, Nicolas Flament, Sanzhong Li, Derrick Hasterok, and R. Dietmar Müller. 2024. Earth's tectonic and plate boundary evolution over 1.8 billion years. *Geoscience Frontiers*, 15: 101922.

Clennett, Edward J., Karin Sigloch, Mitchell G. Mihalynuk, Maria Seton, Martha A. Henderson, Kasra Hosseini, Afsaneh Mohammadzaheri, Stephen T. Johnston, and R. Dietmar Müller. 2020. A quantitative tomotectonic plate reconstruction of western North America and the eastern Pacific basin. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 21: e2020GC009117.

Cohen K M, Finney S C, Gibbard P L, Fan Junxuan. 2013. The ICS international chronostratigraphic chart. *Episodes*, 36(3): 199~204.

Gibbons A. D, Zahirovic S, Müller R D, Whittaker J M, Yatheesh V. 2015. A tectonic model reconciling evidence for the collisions between India, Eurasia and intra-oceanic arcs of the central-eastern Tethys. *Gondwana Research*, 28: 451~492.

Gurnis M, Turner M, Zahirovic S, DiCaprio L, Spasojevic S, Müller R D, Boyden J, Seton M, Manea V C, Bower D J. 2012. Plate tectonic reconstructions with continuously closing plates. *Computers & Geosciences*, 38(1): 35~42.

Hou Mingcai, Chen Anqing, Ren Qiang, Zhong Hanting, Li Zhilin, Liu Shaofeng, Xiao Yitian, Li Haipeng, Wu Xinming, Jiang Lili, Ma

Chao, Lin Chengfa, Zheng Dongyu, You Jiachun, Sun Xiaoming, Ti Peng, Wang Han, Zhang Lei, Cheng Han. 2023&. The progress and perspective of digital intelligence in comprehensive paleogeographic reconstruction. *Acta Geologica Sinica*, 97(9): 2956~2974.

Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, Davidson A, Wael B D, Ernst R E, Fitzsimons I C W, Fuck R A, Gladkochub D P, Jacobs J, Karlstrom K E, Lu S, Natapov L M, Pease V, Pisarevsky S A, Thrane K, Vernikovsky V. 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. *Precambrian Research*, 160: 179~210.

Matthews K J, Maloney K T, Zahirovic S, Williams S E, Seton M, Müller R D. 2016. Global plate boundary evolution and kinematics since the Late Paleozoic. *Global and Planetary Change*, 146: 226~250.

Merdith A S, Collins A S, Williams S E, Pisarevsky S, Foden J D, Archibald D B, Blades M L, Alessio B L, Armistead S, Plavsa D, Clark C, Müller R D. 2017. A full-plate global reconstruction of the Neoproterozoic. *Gondwana Research*, 50: 84~134.

Merdith A S, Williams S E, Collins A S, Tetley M G, Mulder J A, Blades M L, Young A, Armistead S E, Cannon J, Zahirovic S, Müller R D. 2021. Extending full-plate tectonic models into deep time: Linking the Neoproterozoic and the Phanerozoic. *Earth - Science Reviews*, 214: 103477.

Müller R D, Cannon J, Qin Xiaodong, Watson R J, Gurnis M, Williams S, Pfaffelmoser T, Seton M, Russell S H J, Zahirovic S. 2018. GPlates: Building a virtual Earth through deep time. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19: 2243~2261.

Müller R D, Flament N, Cannon J, Tetley M G, Williams S E, Cao Xianzhi, Bodur Ö F, Zahirovic S, Merdith A. 2022. A tectonic-rules-based mantle reference frame since 1 billion years ago - implications for supercontinent cycles and plate - mantle system evolution. *Solid Earth*, 13: 1127~1159.

Müller R D, Seton M, Zahirovic S, Matthews K J, Wright N M, Shephard G E, Maloney K T, Barnett-Moore N, Hosseini M, Bower D J, Cannon J. 2016. Ocean basin evolution and global-scale plate reorganization events since Pangea breakup. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 44: 107~138.

Müller R D, Zahirovic S, Williams S E, Cannon J, Seton M, Bower D J, Tetley M G, Heine C, Breton E Le, Liu Shaofeng, Russell S H J, Yang Ting, Leonard J, Gurnis M. 2019. A global plate model including lithospheric deformation along major rifts and orogens since the Triassic. *Tectonics*, 38: 1884~1907.

Scotese C R. 2016. Tutorial: PALEOMAP paleoAtlas for GPlates and the paleoData plotter program. PALEOMAP Project, Technical Report, 56.

Seton M, Müller R D, Zahirovic S, Gaina C, Torsvik T, Shephard G, Talsma A, Gurnis M, Turner M, Maus S, Chandler M. 2012. Global continental and ocean basin reconstructions since 200 Ma. *Earth-Science Reviews*, 113: 212~270.

Shephard G E, Müller R D, Seton M. 2013. The tectonic evolution of the Arctic since Pangea breakup: Integrating constraints from surface geology and geophysics with mantle structure. *Earth - Science Reviews*, 124: 148~183.

Young A, Flament N, Maloney K, Williams S, Matthews K, Zahirovic S, Müller R D. 2019. Global kinematics of tectonic plates and subduction zones since the late Paleozoic Era. *Geoscience Frontiers*, 10: 989~1013.

Zahirovic S, Matthews K J, Flament N, Müller R D, Hill K C, Seton M, Gurnis M. 2016. Tectonic evolution and deep mantle structure of

the eastern Tethys since the latest Jurassic. *Earth-Science Reviews*, 162: 293~337.

Zahirovic S, Seton M, Müller R. 2014. The cretaceous and cenozoic tectonic evolution of Southeast Asia. *Solid Earth*, 5: 227~273.

Design and implementation of an online paleogeographic map visualization system based on GPlates and Vue

SUN Chao^{1, 2)}, HUANG Hao³⁾

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

2) *China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, 430074;*

3) *The Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029*

Abstract: The Deep-time Digital Earth (DDE) initiative represents a pioneering undertaking in the realm of scientific research, spearheaded by Chinese scientists and endorsed by the International Union of Geological Sciences, a global authority in the field of geosciences. The primary objective of the DDE project is the establishment of an unparalleled, interconnected digital repository, encompassing the intricate evolutionary trajectory of the Earth. Utilizing state-of-the-art information technology and data science methodologies, the project seamlessly integrates the temporal span of geological history with contemporary earth observation data. This integration fosters the creation of a comprehensive, dynamic and multifaceted earth system model, offering a unique perspective on the evolution of our planet. Paleogeographic maps are important spatial-temporal visualization tools for revealing geological and environmental resource issues such as geomorphological evolution processes, plate movements, and changes in species distribution, and for constructing a deep-time digital earth. Since the 1970s, foreign scholars have constructed paleogeographic reconstruction models using substantial geophysical data, primarily paleomagnetic, geochronological, and paleontological fossil data. Following two decades of research, a significant number of paleogeographic maps have been made available through online platforms such as EarthByte and the Gplates Web Portal. These maps encompass a wide range of information, including superimposed topographic maps, geological maps, elevation data, magnetic anomalies, lithology, and other elemental details. Presently, numerous domestic online geological information application systems incorporate the superimposed display of elements such as samples, occurrences, fossils, and mineral points on contemporary maps. However, most systems lack the visualization function of online paleogeographic maps, thus preventing them from expressing the chronological information of geological data from a temporal dimension. The author of this paper aims to construct a paleogeographic map visualization web application (Single Page Application, SPA) system that can be expeditiously deployed using a technical route based entirely on free and open source frameworks. The application's interface is designed to facilitate the switching between different paleogeographic reconstruction models, thereby enabling the display of geological elements such as rocks and paleontological fossils, which possess both spatial attributes and geochronological attributes. The Vue component plays a pivotal role in the separation of front-end module components from data, thereby facilitating seamless integration with the front end of a Web GIS system for data transmission and functional module integration. This integration process is particularly noteworthy in terms of its rapid deployment within a B/S-based GIS framework.

Keywords: deep-time digital Earth; paleogeographic map; GIS; Gplates; Vue.js

Acknowledgements: This paper is supported by the China Geological Survey Project (No. DD20230714) and the National Key Research and Development Programme of China (No. 2018YFE0204202)

First author: SUN Chao, male, born in 1979, senior engineer, is mainly engaged in geological database and system construction; Email: sunchao@cags.ac.cn

Manuscript received on: 2024-11-13; Accepted on: 2025-03-11; Published online on: 2025-07-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2025.07.017

Edited by: LI Ming